



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000188049 A**(43) Date of publication of application: **04 . 07 . 00**

(51) Int. Cl. **H01H 59/00**  
**B62D 57/00**  
**H01H 1/02**  
**H01H 1/26**  
**H01H 11/00**  
**H01H 13/00**  
**H01H 13/14**

(21) Application number: **10365677**(22) Date of filing: **22 . 12 . 98**(71) Applicant: **NEC CORP**

(72) Inventor: **SUZUKI KENICHIRO**  
**ARA YOICHI**  
**CHIN SHOKO**

**(54) MICRO MACHINE SWITCH AND MANUFACTURE THEREOF**

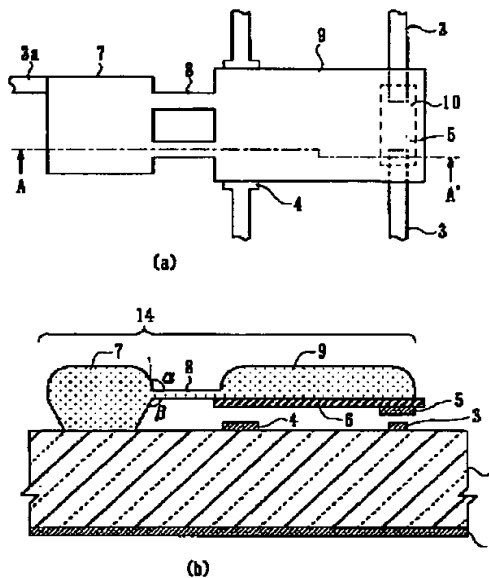
of the position opposite to the lower electrode 4.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

**(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an inexpensive micro switch of high performance which can be produced in high volume.

**SOLUTION:** A micro machine switch comprises: a support member 7 which is disposed in the proximity of a gap on a signal line on a substrate 1 and has a predetermined height with respect to the surface of the substrate 1; a flexible beam member (a cantilever arm 8) which projects from the support member 7 substantially horizontally with respect to the surface of the substrate 1 and is disposed at a part thereof opposite to the gap; a contact electrode 5 disposed in at least a position opposite to the gap on a side of the substrate 1 in the beam member; and a lower electrode 4 disposed opposite to a part of the beam member on the substrate 1. The beam member functions as an upper electrode 9 since it has conductivity from a portion in connection with the support member 7 to a position opposite to the lower electrode 4. Furthermore, the beam member has substantially symmetric thermal expansion coefficients along a thickness direction perpendicular to the surface of the substrate 1 in at least a region from the portion in connection with the support member 7 to the proximity



(11)特許出願公開番号

特開2000-188049

(P2000-188049A)

(43)公開日 平成12年7月4日(2000.7.4)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
H 0 1 H 59/00		H 0 1 H 59/00	5 G 0 0 6
B 6 2 D 57/00		1/02	Z 5 G 0 2 3
H 0 1 H 1/02		1/26	B 5 G 0 5 0
1/26		11/00	B 5 G 0 5 1
11/00		13/00	B
審査請求 有 請求項の数36 OL (全 25 頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号	特願平10-365677	(71)出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22)出願日	平成10年12月22日(1998.12.22)	(72)発明者	鈴木 健一郎 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
		(72)発明者	荒 洋一 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
		(74)代理人	100064621 弁理士 山川 政樹

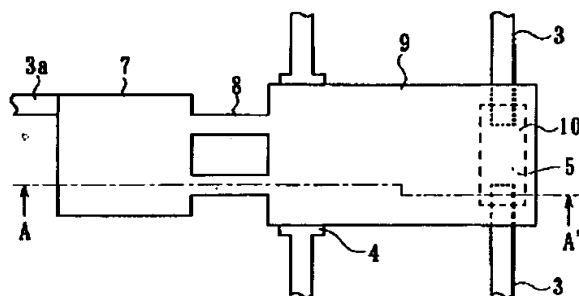
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロマシンスイッチおよびその製造方法

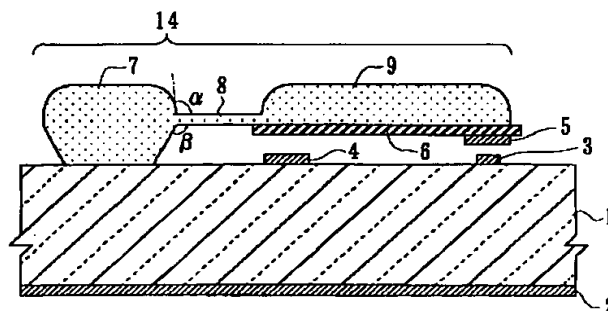
(57) 【要約】

【課題】 大量生産可能で安価かつ高性能な微小スイッチを実現する。

【解決手段】 基板 1 上に信号線のギャップと近接して設けられかつ基板 1 面に対して所定の高さを有する支持部材 7 と、この支持部材 7 から基板 1 面に対して略水平に突出しかつ一部がギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材（片持ちアーム 8）と、この梁部材の基板 1 側における少なくともギャップと対向する位置に設けられた接触電極 5 と、基板 1 上に梁部材の一部と対向して設けられた下部電極 4 とを備える。そして、梁部材は、支持部材 7 との接続部分から下部電極 4 と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極 9 として機能し、かつ、少なくとも支持部材 7 との接続部分から下部電極 4 と対向する位置近傍までの領域で、基板 1 面に対して直交する厚み方向に沿って熱膨張係数が略対称となっている。



### (a) 第 1 の実施の形態



(b) A-A' 線断面図

**【特許請求の範囲】**

**【請求項 1】** 基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部に設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、

前記基板上に前記ギャップと近接して設けられかつ前記基板面に対して所定の高さを有する支持部材と、

この支持部材から前記基板面に対して略水平に突出しかつ一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、

この梁部材の前記基板側における少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、

前記基板上に前記梁部材の一部と対向して設けられた下部電極とを備え、

前記梁部材は、

前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、

かつ、

少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置近傍までの領域で、前記基板面に対して直交する厚み方向に沿って熱膨張係数が略対称となっていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 2】** 基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部に設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、

前記基板上に前記ギャップと近接して設けられかつ前記基板面に対して所定の高さを有する支持部材と、

この支持部材から前記基板面に対して略水平に突出しかつ一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、

この梁部材の前記基板側における少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、

前記基板上に前記梁部材の一部と対向して設けられた下部電極とを備え、

前記梁部材における前記基板側の面と、前記梁部材が接続されている前記支持部材側の面と、のなす角が鈍角であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 3】** 基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部に設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、

前記基板上に前記ギャップと近接して設けられかつ前記基板面に対して所定の高さを有する支持部材と、

この支持部材から前記基板面に対して略水平に突出しかつ一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた

可撓性の梁部材と、

この梁部材の前記基板側における少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、

前記基板上に前記梁部材の一部と対向して設けられた下部電極とを備え、

前記支持部材は、

前記梁部材との接続部分において、前記梁部材の前記基板と反対側の面よりも高い位置まで突出していることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 4】** 請求項 3 において、

前記梁部材における前記基板と反対側の面と、この反対側の面よりも高く突出した前記支持部材の表面と、のなす角が鈍角であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 5】** 請求項 4 において、

前記梁部材における前記基板側の面と、この梁部材が接続されている前記支持部材の側面と、のなす角が鈍角であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 6】** 請求項 1 ないし 5 の何れか一項において、

で、

前記接触電極は、前記梁部材における前記基板側の面に、絶縁性部材を介して設けられていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 7】** 請求項 1 ないし 6 の何れか一項において、

前記梁部材は、前記接触電極が設けられた面と反対側の面に、前記接触電極と対向して補強部材が設けられていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 8】** 請求項 1 ないし 6 の何れか一項において、

で、

前記接触電極は、前記第 1 および第 2 の信号線と容量接続可能な絶縁体膜によって覆われていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 9】** 請求項 1 ないし 6 の何れか一項において、

で、

前記下部電極は、前記支持部材と前記ギャップとの間における前記基板上に設けられていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 10】** 請求項 1 ないし 6 の何れか一項において、

前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とは、同一の導電性部材からなる一体構造であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

**【請求項 11】** 請求項 1 ないし 6 の何れか一項において、

前記梁部材は、前記支持部材との接続部分から少なくとも前記下部電極と対向する位置までの領域が導電性部材で形成されるとともに、この導電性部材の先端部に前記ギャップと対向する位置まで延在する絶縁性部材が設けられ、

前記接触電極は、前記ギャップと対向してこの絶縁性部材に設けられていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 12】 請求項 10 または 11 において、前記導電性部材は、半導体材料よりなることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 13】 請求項 1 ないし 6 の何れか一項において、

前記梁部材は、半導体材料により形成され、かつ、前記接触電極の設けられている部分から前記下部電極と対向する部分にかけての領域が少なくとも絶縁化されていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 14】 請求項 12 または 13 において、前記半導体材料は、単結晶の半導体であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 15】 請求項 12 または 13 において、前記半導体材料は、アモルファス半導体または多結晶半導体であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 16】 請求項 1 において、前記基板は、ガラス基板またはセラミック基板であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 17】 請求項 1 において、前記基板は、ガリウムヒ素基板であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 18】 請求項 1 ないし 6 の何れか一項において、前記マイクロマシンスイッチは、フェーズドアレイアンテナ装置に使用されることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 19】 基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチの製造方法において、前記基板上に下部電極を形成する工程と、所定の高さを有する支持部材とこの支持部材に設けられた可撓性の梁部材とこの梁部材に設けられた接触電極とからなる部材を、前記接触電極が前記ギャップと対向するとともに前記第 1 および第 2 の信号線と離間した状態で、前記基板上に接着する工程と、を有し、前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置にかけて導電性を持たせることにより前記梁部材の一部を上部電極として機能させ、かつ、少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置近傍まにかけて、前記基板面に対して直交する厚み方向に沿って熱膨張係数が略対称となるように、前記梁部材を形成することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 20】 基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチの製造方法において、

前記基板上に下部電極を形成する工程と、所定の高さを有する支持部材とこの支持部材に設けられた可撓性の梁部材とこの梁部材に設けられた接触電極とからなる部材を、前記接触電極が前記ギャップと対向するとともに前記第 1 および第 2 の信号線と離間した状態で、前記基板上に接着する工程と、

を有し、前記梁部材における前記基板側の面と、前記梁部材が接続されている前記支持部材側の面と、のなす角を鈍角にすることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 21】 基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチの製造方法において、

前記基板上に下部電極を形成する工程と、所定の高さを有する支持部材とこの支持部材に設けられた可撓性の梁部材とこの梁部材に設けられた接触電極とからなる部材を、前記接触電極が前記ギャップと対向するとともに前記第 1 および第 2 の信号線と離間した状態で、前記基板上に接着する工程と、

を有し、前記梁部材との接続部分において、前記梁部材の前記基板と反対側の面よりも高い位置まで突出するように、前記支持部材を形成することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 22】 請求項 21 において、前記梁部材における前記基板と反対側の面と、この反対側の面よりも高く突出した前記支持部材の表面と、のなす角を鈍角にすることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 23】 請求項 22 において、前記梁部材における前記基板側の面と、この梁部材が接続されている前記支持部材の側面と、のなす角を鈍角にすることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 24】 請求項 19 ないし 23 の何れか一項において、前記接触電極を、前記梁部材における前記基板側の面に、絶縁性部材を介して設けることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 25】 請求項 19 ないし 24 の何れか一項において、前記梁部材における前記接触電極が設けられた面と反対

側の面に、前記接触電極と対向して補強部材を設けることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 26】 請求項 19 ないし 24 の何れか一項において、

前記接触電極を、前記第 1 および第 2 の信号線と容量接続可能な絶縁体膜によって覆うことを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 27】 請求項 19 ないし 24 の何れか一項において、

前記下部電極を、前記支持部材と前記ギャップとの間における前記基板上に設けることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 28】 請求項 19 ないし 24 の何れか一項において、

前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とを、同一の導電性部材からなる一体構造とすることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 29】 請求項 19 ないし 24 の何れか一項において、

前記梁部材において、前記支持部材との接続部分から少なくとも前記下部電極と対向する位置までの領域を導電性部材で形成し、この導電性部材の先端部に前記ギャップと対向する位置まで延在する絶縁性部材を設け、前記接触電極を、前記ギャップと対向してこの絶縁性部材に設けることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 30】 請求項 28 または 29 において、前記導電性部材を、半導体材料より形成することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 31】 請求項 19 ないし 24 の何れか一項において、

前記梁部材を半導体材料により形成し、かつ、前記接触電極の設けられている部分から前記下部電極と対向する部分にかけての領域を少なくとも絶縁化することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 32】 請求項 30 または 31 において、前記半導体材料として、単結晶の半導体を用いることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 33】 請求項 30 または 31 において、前記半導体材料として、アモルファス半導体または多結晶半導体を用いることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 34】 請求項 19 において、前記基板として、ガラス基板またはセラミック基板を用いることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 35】 請求項 19 において、前記基板として、ガリウムヒ素基板を用いることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 36】 請求項 19 ないし 24 の何れか一項に

において、

前記マイクロマシンスイッチを、フェーズドアレイアンテナ装置に使用することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マイクロマシンスイッチおよびその製造方法に関し、特に DC（直流）からギガヘルツ以上の広い信号周波数をオン／オフ可能とするマイクロマシンスイッチおよびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、ロックウェル・インターナショナル・コーポレーションのユン・ジェイソン・ヤオの「微細電気機械スイッチ」（特開平 9-17300 号公報）に記載の発明を例にして、従来技術を説明する。

【0003】図 16 は、特開平 9-17300 号公報に開示されたマイクロマシンスイッチの平面図（a）およびその D-D' 線断面図（b）を示す。同図に示すように、ガリウムヒ素からなる基板 51 上には、熱硬化ポリイミドからなるアンカー構造 52 と、金からなる下部電極 53 と、金からなる信号線 54 とが設けられている。

【0004】そして、アンカー構造 52 の上にはシリコン酸化膜からなる片持ちアーム 55 が設けられ、この片持ちアーム 55 は、下部電極 53 を越えて信号線 54 の位置まで延在しており、これらと空間的な隙間を介して対向している。

【0005】片持ちアーム 55 の上側には、アルミからなる上部電極 56 がアンカー構造 52 から下部電極 53 に対向する位置まで作製されている。また、片持ちアーム 55 の下側には、信号線 54 に対向する位置に金からなる接触電極 57 が設けられている。

【0006】さて、このような構造をしたマイクロマシンスイッチにおいて、上部電極 56 と下部電極 53 との間に 30 V の電圧を印加すると、静電気力により上部電極 56 に基板方向（矢印 58 の下向き）に引力が働く。このため、片持ちアーム 55 が基板側に変形し、接触電極 57 が信号線 54 の両端と接触する。

【0007】通常の状態では、図 16（b）に示すように、接触電極 57 と信号線 54 との間には隙間が設けられ、したがって 2 本の信号線 54 は互いに切り離されている。このため、下部電極 53 に電圧が印加されない状態では、信号線 54 に電流は流れない。

【0008】しかし、下部電極 53 に電圧が印加されて接触電極 57 が信号線 54 と接触した状態では、2 本の信号線 54 は短絡し、両者の間を電流が流れることができる。したがって、下部電極 53 への電圧印加によって、信号線 54 を通る電流あるいは信号のオン／オフを制御することができる。

【0009】ただし、特にこのスイッチをマイクロ波領

域の信号に使用する際に、スイッチの損失を低減させるためには、上部電極 56 と接触電極 57 とが電氣的に十分に絶縁されていることが重要である。すなわち、もし上部電極 56 と接触電極 57 が電氣的に短絡していれば、信号線 54 を流れる信号（DC を含む）が上部電極 56 にも流れ出てしまう。

【0010】また、上部電極 56 と接触電極 57 とが短絡していなくとも、静電容量がかなり大きいような状態では、信号線 54 を流れる交流信号がやはり上部電極 56 に流れて外部に漏洩する。このように、上部電極 56 と接触電極 57 との絶縁が十分でないときには、信号の漏れが大きくなり、スイッチの特性が悪くなる。上述の従来例においては、このような観点から、片持ちアーム 55 を構成する材料として絶縁材料（シリコン酸化膜）を使用している。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述の従来のマイクロマシンスイッチには、以下の問題点がある。片持ちアーム 55 は、材料の異なる上部電極 56 およびアンカー構造 52 と広い領域で接触している。また、スイッチの駆動電圧を抑制するため、片持ちアーム 55 は機械的に柔らかい構造となっており、微小電圧で動くようになっている。

【0012】このように、従来のマイクロマシンスイッチにおいては、上部電極 56、片持ちアーム 55 およびアンカー構造 52 が、それぞれ異なる材料によって形成されていることから熱膨張係数も異なり、特に片持ちアーム 55 は歪みによって反りが発生しやすくなっている。

【0013】例えば、熱膨張係数について、二酸化シリコン、アルミおよびポリイミドのそれぞれを比較した場合、二酸化シリコンの熱膨張係数はその他のものと比べて約  $1/100$  倍と非常に小さな値を有する。このため、プロセス温度およびデバイス完成後の雰囲気温度変化によって上部電極 56 等の金属部分が膨張し、片持ちアーム 55 には容易に反りが発生してしまう。

【0014】また、このような反りの存在は、基板 51 に対して上向きであっても下向きであっても、スイッチ特性に悪い影響を与える。もし、片持ちアーム 55 の反りが上向きの場合には、電圧を印加したときに片持ちアーム 55 の下側表面が下部電極 53 に接触したとしても、接触電極 57 が信号線 54 と接触しない状態が生じる可能性がある。その場合、仮に接触電極 57 と信号線 54 とが接触したとしても、接触部における圧力は極めて小さなものに過ぎず、このような軽い接触では接触抵抗が大きくなるという問題がある。

【0015】一方、片持ちアーム 55 の反りが下向きの場合には、電圧を印加することにより接触電極 57 と信号線 54 とは接触するものの、接触電極 57 の全体が平面的に信号線 54 に接触するのではなく、いわゆる片当

たり（一部の領域のみで接触すること）が生じ易くなる。したがって、この場合においてもスイッチの接触抵抗が大きくなるという問題が生じる。このように、いずれにしても片持ちアーム 55 に反りが生じると接触抵抗が大きくなり、オン時のスイッチ抵抗が大きくなるという問題がある。

【0016】実際、従来例においては、スイッチ作製のプロセスを  $250^{\circ}\text{C}$  以下の低い温度で行うことにより、プロセス温度による反りの抑制がなされている。

【0017】具体的には、片持ちアーム 55 を形成する二酸化シリコン膜を、プラズマ CVD（PECVD）プロセスで作製している。PECVD 酸化膜は、低い温度で作製できることが利点であり、このようにプロセスの温度を低く抑えることは、異なる材料の大きな熱膨張係数の差の影響を減少する上で重要である。

【0018】一方、材料の機械的特性（歪み、剛性、信頼性等）および電氣的特性（誘電率、最大破壊電圧等）が、特に温度条件の最適化によって著しく改良されるものであることは良く知られているとおりである。しかしながら、上述の従来例ではプロセス温度を低く抑える必要があるため、温度パラメータを材料の最適化のために十分利用できず、材料的に大きな限界を有するといえる。

【0019】また、一般的に片持ちアーム 55 の剛性を一定に保つため、その厚さを厚くすると、アームの幅を減少させられるという利点がある。このため、スイッチ全体の寸法を小さくすることが可能であり、小さい面積に多くのスイッチを作製することができる利点がある。

【0020】しかし、二酸化シリコンを片持ちアーム 55 に利用する従来例は、片持ちアーム 55 の厚さ方向に大きな制限を有している。原理的には、PECVD の時間を長くすることによって二酸化シリコン膜の厚さを、 $10\mu\text{m}$  以上でも厚くすることが可能であるが、成長時間が長くなると装置の処理速度が減少してコストが高くなり、また装置内部にゴミが発生し易くなってたびたびクリーニングを行う必要がある等の装置メンテナンス上の種々の問題が生じる。

【0021】さらに、厚い膜内部には大きな歪みが生じて堆積中に基板 51 を破壊するという問題も生じる。このような理由から、実際的には、せいぜい  $2\mu\text{m}$  程度の厚さに制限されているのが現状である。このため、スイッチ構造の設計的寸法においても厳しい制限がある。

【0022】また、従来例のようなプロセス温度低減は、製造時の反り抑制にある程度の効果はあるものの、使用雰囲気の温度変動による反りに対しては何の役にもたっていない。この使用時の反りは、熱膨張係数の異なる積層膜をアーム部に用いた場合における必然的な問題点である。一方、従来例の構造のスイッチには、機械的強度および耐久性の点でも問題点がある。スイッチを駆動させる際、最も大きな応力は片持ちアーム 55 の根本

(アンカー構造 52 との接続部分) に発生する。したがって、スイッチの機械的強度・耐久性を向上させるためには、この根本部の構造を最適化する必要がある。しかし、従来例の構造は、片持ちアーム 55 とアンカー構造 52 とが別個の材料で構成され、さらにはこれら両者が直角をなすようになっている。このような構造は、根本部に発生する応力を緩和させるには適当でない。

【0023】本発明は、このような課題を解決するためのものであり、大量生産可能で安価かつ高性能なマイクロマシンスイッチおよびその製造方法を提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、本発明に係るマイクロマシンスイッチの一態様は、基板上に設けられた第 1 の信号線と、上記基板上に設けられかつ上記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチに関するものである。そして、上記基板上に上記ギャップと近接して設けられかつ上記基板面に対して所定の高さを有する支持部材と、この支持部材から上記基板面に対して略水平に突出しかつ一部が上記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、この梁部材の上記基板側における少なくとも上記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、上記基板上に上記梁部材の一部と対向して設けられた下部電極とを備えている。上記梁部材は、上記支持部材との接続部分から上記下部電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、かつ、少なくとも上記支持部材との接続部分から上記下部電極と対向する位置近傍までの領域で、上記基板面に対して直交する厚み方向に沿って熱膨張係数が略対称となっている。

【0025】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記梁部材における上記基板側の面と、上記梁部材が接続されている上記支持部材側の面と、のなす角が鈍角である。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記支持部材は、上記梁部材との接続部分において、上記梁部材の上記基板と反対側の面よりも高い位置まで突出している。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記梁部材における上記基板と反対側の面と、この反対側の面よりも高く突出した上記支持部材の表面と、のなす角が鈍角である。

【0026】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記梁部材における上記基板側の面と、この梁部材が接続されている上記支持部材の側面と、のなす角が鈍角である。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記接触電極は、上記梁部材における上記基板側の面に、絶縁性部材を介して設けられている。また、本発明

に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記梁部材は、上記接触電極が設けられた面と反対側の面に、上記接触電極と対向して補強部材が設けられていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記接触電極は、上記第 1 および第 2 の信号線と容量接続可能な絶縁体膜によって覆われている。

【0027】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記下部電極は、上記支持部材と上記ギャップとの間における上記基板上に設けられている。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記支持部材と上記梁部材の少なくとも一部とは、同一の導電性部材からなる一体構造である。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記梁部材は、上記支持部材との接続部分から少なくとも上記下部電極と対向する位置までの領域が導電性部材で形成されるとともに、この導電性部材の先端部に上記ギャップと対向する位置まで延在する絶縁性部材が設けられ、上記接触電極は、上記ギャップと対向してこの絶縁性部材に設けられている。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記導電性部材は、半導体材料よりなる。

【0028】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記梁部材は、半導体材料により形成され、かつ、上記接触電極の設けられている部分から上記下部電極と対向する部分にかけての領域が少なくとも絶縁化されている。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記半導体材料は、単結晶の半導体である。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記半導体材料は、アモルファス半導体または多結晶半導体である。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記基板は、ガラス基板またはセラミック基板である。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記基板は、ガリウムヒ素基板である。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様においては、上記マイクロマシンスイッチは、フェーズドアレイアンテナ装置に使用される。

【0029】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法の一態様は、基板上に設けられた第 1 の信号線と、上記基板上に設けられかつ上記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチの製造方法に関するものである。そして、上記基板上に下部電極を形成する工程と、所定の高さを有する支持部材とこの支持部材に設けられた可撓性の梁部材とこの梁部材に設けられた接触電極とからなる部材

を、上記接触電極が上記ギャップと対向するとともに上記第1および第2の信号線と離間した状態で、上記基板上に接着する工程と、を有する。そして、上記支持部材との接続部分から上記下部電極と対向する位置にかけて導電性を持たせることにより上記梁部材の一部を上部電極として機能させ、かつ、少なくとも上記支持部材との接続部分から上記下部電極と対向する位置近傍まにかけて、上記基板面に対して直交する厚み方向に沿って熱膨張係数が略対称となるように、上記梁部材を形成する。

【0030】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記梁部材における上記基板側の面と、上記梁部材が接続されている上記支持部材側の面と、のなす角を鈍角にする。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記梁部材との接続部分において、上記梁部材の上記基板と反対側の面よりも高い位置まで突出するように、上記支持部材を形成する。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記梁部材における上記基板と反対側の面と、この反対側の面よりも高く突出した上記支持部材の表面と、のなす角を鈍角にする。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記梁部材における上記基板側の面と、この梁部材が接続されている上記支持部材の側面と、のなす角を鈍角にする。

【0031】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記接触電極を、上記梁部材における上記基板側の面に、絶縁性部材を介して設ける。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記梁部材における上記接触電極が設けられた面と反対側の面に、上記接触電極と対向して補強部材を設ける。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記接触電極を、上記第1および第2の信号線と容量接続可能な絶縁体膜によって覆う。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記下部電極を、上記支持部材と上記ギャップとの間における上記基板上に設ける。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記支持部材と上記梁部材の少なくとも一部とを、同一の導電性部材からなる一体構造とする。

【0032】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記梁部材において、上記支持部材との接続部分から少なくとも上記下部電極と対向する位置までの領域を導電性部材で形成し、この導電性部材の先端部に上記ギャップと対向する位置まで延在する絶縁性部材を設け、上記接触電極を、上記ギャップと対向してこの絶縁性部材に設ける。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法の

その他の態様においては、上記導電性部材を、半導体材料より形成する。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記梁部材を半導体材料により形成し、かつ、上記接触電極の設けられている部分から上記下部電極と対向する部分にかけての領域を少なくとも絶縁化する。

【0033】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記半導体材料として、単結晶の半導体を用いる。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記半導体材料として、アモルファス半導体または多結晶半導体を用いる。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記基板として、ガラス基板またはセラミック基板を用いる。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記基板として、ガリウムヒ素基板を用いる。また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様においては、上記マイクロマシンスイッチを、フェーズドアンテナ装置に使用する。

【0034】このように構成することにより本発明は、梁部材の基板面に対して直交する厚み方向に沿って熱膨張係数が略対称となっている。このため、従来例のように異種材料間に生じる歪みによって起こる反りが著しく緩和される。このように、熱膨張係数を厚み方向に対称とする最も簡単な方法は、梁部材を単一材料で構成することである。また、その他に、上下対称の積層構造とすることももちろん可能である。

【0035】ここで、梁部材の反りを抑制するためには、特に梁部材が支持部材に接続される部位近傍、さらに具体的には、支持部材との接続部分から下部電極と対向する位置近傍までの領域で、熱膨張係数を上記のとおりに対称とすることが有効である。逆に梁部材の先端部近傍では、その厚さ方向に沿って熱膨張係数が対称となっていないくても、反りの発生は小さい。ちなみに、試作したスイッチを測定してみたところ、片当たり等で生じる接触抵抗のばらつきが小さくなり、特性のそろったスイッチを多量に作製することができるようになった。

【0036】また、スイッチの周囲温度が変化してもスイッチ動作の変化が著しく小さいことも判明した。また、本発明の構成によれば、スイッチの機械的強度、耐久性および動作の高速性に関しても、従来よりも著しく改善されている。例えば、梁部材と支持部材とのなす角を、その基板側の面において鈍角とすることにより、梁部材の根本が応力集中によって破壊されるのを防止することができる。また、支持部材を梁部材よりも高く突出させることにより、梁部材の根本近傍の構造を上下方向に対称に近い形状とすることができる。これにより、支持部材も含め、梁部材の根本近傍における熱膨張係数分布を対称にすることが可能であり、梁部材の反りを防止



するのに有効である。

【0037】また、支持部材が上に突出していることは、スイッチの動作速度向上にも有効である。すなわち、スイッチがオン状態（下がった状態）からオフ状態（上がった状態）に復帰する際の速度が速くなるという効果を得ることができる。これは、支持部材が梁部材よりも上に突出している場合の方が、梁部材の根本部に発生する応力が大きくなるためである。また、スイッチをオン／オフする際には、急激な動作であるため、梁部材が上下に振動する現象（バウンドチャタリングと呼ばれている）が生じることがある。そこで、このようなバウンドチャタリングを速やかに終了させるためには、梁部材の根本部に適度な応力を発生させて梁部材の動的なエネルギーを支持部材に吸収させることが必要であり、それには支持部材が梁部材よりも突出している構造が有効である。

【0038】また、このようなマイクロマシンスイッチにおいては、梁部材が最も機械的に弱い構造である。したがって、製造プロセスにおいてスイッチを基板に実装する際等に、梁部材が基板等との接触により破壊されるのを防ぐ構造を有することが望ましい。そこで、支持部材を梁部材よりも突出した構造とすることにより、梁部材の接触事故を抑制することができ、スイッチが破壊される危険性を低下させることができる。

【0039】また、このように支持部材を梁部材よりも突出させる際においても、梁部材と支持部材とのなす角を、その基板と反対側の面において鈍角とすることが望ましい。これは梁部材の根本が、応力集中によって破壊されるのを防止することができるためである。なお、基板面側または反対面側において、梁部材と支持部材とのなす角を鈍角とする場合、その角度をそれぞれ $100^\circ \sim 170^\circ$ の範囲にすることが好ましく、さらに好ましくは $110^\circ \sim 150^\circ$ の範囲にするとよい。このようにすることにより、上述の応力集中を低減させる作用と、適度な応力を発生させて動作速度を向上させる作用と、を両立させることができる。

【0040】また、支持部材および梁部材の少なくとも根本部を含む一部を同一材料で構成することにより、両部材間の歪みの低減、応力の一点集中の抑制および強度の向上が可能となり、繰り返し使用に対する耐久性が向上する。ここで、維持部材、梁部材および上部電極を、同一の材料で作製する場合、製造プロセスを簡略化することができる。

【0041】また、高温プロセスを利用できることから、梁部材等を構成する材料の選択が広がり、種々の導体および半導体を利用することができるようになり、材料選択の自由度が増大する。特に、高温で作製された絶縁体膜は、耐圧特性にすぐれており、デバイスの電気特性に貢献するといえる。

【0042】さらに、厚さ方向の自由度が増大したた

め、アームの幅を減少することができ、スイッチの寸法を小さくすることが可能となった。なお、本発明を構成する梁部材は、少なくとも支持部材との接続部分から下部電極と対向する位置にかけて導電性を有するものであるが、ここでいう導電性とは金属のような導体であるものに限られない。要するに、支持部材を通して下部電極と対向する位置に電圧を印加できればよいのであって、この部位に電流はほとんど流れない。したがって、この支持部材との接続部分と対向する位置にかけての梁部材の材料としては、金属や半導体材料等を幅広く採用することができる。また、半導体材料を用いる場合、不純物添加の有無や不純物濃度は広い範囲で可変である。

【0043】以上の優れた効果により、本発明のマイクロマシンスイッチは、個々ばらばらにして使用する単純なスイッチ応用に留まらず、大面積の基板上に数万個のオーダで集積化することが要求されるフェーズドアレイアンテナへの適用を可能とする。

【0044】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図を用いて説明する。

【0045】〔第1の実施の形態〕図1は、本発明の第1の実施の形態の平面図(a)およびそのA-A'線断面図(b)を示す。同図に示すように、本実施の形態では、誘電率の大きなガラス製の基板1上に、シリコンからなるスイッチ本体部14と、金からなる下部電極4と、金からなる信号線3が設けられている。また、基板1の裏面にはアース板2が形成されている。

【0046】スイッチ本体部14は、支持部材7と、片持ちアーム8と、上部電極9との一体構造となっている。支持部材7からは、シリコンからなる二本の片持ちアーム8が基板面に対してほぼ水平に延びている。二本の片持ちアーム8は、従来例における一本のアームと比べてアームの回転運動を低く抑えることができ、スイッチの片当たり接触を防止するのに役立つ。ただし、条件に応じて片持ちアーム8の本数を変えればよいのであって、本発明には1本および2本以上の片持ちアーム8を有する構造が含まれる。

【0047】ところで、支持部材7と片持ちアーム8と接続部分においては、その表面におけるなす角 $\alpha$ 、 $\beta$ が、それぞれ鈍角( $90^\circ < \alpha, \beta < 180^\circ$ )となるように調整することが好ましい。このようにすることにより、片持ちアーム8の強度を高めることができ、1MHz以上といった高周波数のスイッチング動作を可能とする。

【0048】片持ちアーム8の先端には、シリコンからなる上部電極9が設けられている。上部電極9は、下部電極4と空間的な隙間を介して対向している。支持部材7は、基板1上に形成されている信号線3aに接続されており、この信号線3aは、支持部材7および片持ちアーム8を介して上部電極9と電気的に接続されている。

【0049】また、二酸化シリコンあるいは窒化シリコン膜等の絶縁体膜からなる絶縁性部材 6 が、上部電極 9 の下面に下部電極 4 と対向する位置から信号線 3 に対向する位置にかけて設けられている。この信号線 3 に対向する絶縁性部材 6 の下側の位置には、金からなる接触電極 5 が設けられている。

【0050】このように絶縁性部材 6 を設けることにより、接触電極 5 と上部電極 9 との短絡、および、スイッチング動作時における上部電極 9 と下部電極 4 との接触を防止することができる。ただし、絶縁性部材 6 は、最低限接触電極 5 と上部電極 9 との間にあればよい。なお、高周波信号をスイッチングする場合は、信号線 3 と容量結合可能な範囲で接触電極 5 の表面を絶縁体膜で覆っていてもよい。逆に信号線 3 を絶縁体膜で覆っても構わない。

【0051】このように、接触電極 5 と対向する絶縁性部材 6 の上側には、片持ちアーム 8 よりも厚みのある上部電極 9 が設けられているため、接触電極 5 と絶縁性部材 6 との間に生じる歪みによる反りを小さく抑えることができる。したがって、接触電極 5 は絶えず基板 1 に対して平行な状態を保つことができ、片当たりによる接触抵抗の増大を抑えることができる。

【0052】ここで、本実施の形態の動作について説明する。信号線 3 a を介して上部電極 9 と下部電極 4 との間に 30 V の電圧を印加すると、静電気力により上部電極 9 に基板方向（下向き）に引力が働く。このため、片持ちアーム 8 が下側に湾曲して接触電極 5 が信号線 3 と接触するようになる。

【0053】信号線 3 は、図 1（b）に示すように接触電極 5 に対向する位置に隙間が設けられている。このため、電圧が印加されない状態では信号線 3 に電流は流れないが、電圧が印加されて接触電極 5 が信号線 3 と接触した状態では信号線 3 を電流が流れることができる。このように、下部電極 4 への電圧印加によって信号線 3 を通る電流あるいは信号のオン／オフを制御することがで

\* きる。また、30 GHz の信号を扱った場合、従来の HEMT（High Electron Mobility Transistor）スイッチでの挿入損失が 3～4 dB であったのに対し、本実施の形態のスイッチでは 2.5 dB という結果が得られた。

【0054】このように本実施の形態では、上部電極 9 は導電性の片持ちアーム 8 を介して導電性の支持部材 7 と電気的に接続されているため、上部電極 9 への電圧印加を容易に行うことができる。ただし、上部電極 9 は電氣的に浮遊した状態であっても構わない。その場合、信号線 3 a は不要であり、スイッチを動作させるためには下部電極 4 に電圧を印加するだけでよい。

【0055】また、支持部材 7 と片持ちアーム 8 と上部電極 9 とを、不純物が一部あるいは全体に拡散された半導体で作製することができる。その場合、スイッチの動作時に上部電極 9 と下部電極 4 との間に流れる電流は、極めて小さなものであるから、これら半導体の不純物の含有量を精密に制御する必要はない。

【0056】また、以下の作製方法に述べるように片持ちアーム 8 の厚さを、他の構成要素に比べて薄く制御することも容易である。このように個々の要素の厚さを制御することによって、剛性の大きな構成要素の中に柔らかい片持ちアーム 8 を作製することができる。したがって、剛性の大きな要素では電圧印加時の変形が基板 1 に対して水平に行われ、変形のほとんどが薄い片持ちアーム 8 によってなされることになる。これは、スイッチの片当たりを低く抑えることに役立つものである。

【0057】ただし、上部電極 9 の厚さを、片持ちアーム 8 と同じにしたものも本発明に含むことができる。このような構造は、作製方法が簡略化されるという長所がある。

【0058】なお、本実施の形態の代表的な寸法は、表 1 のとおりである。

【0059】

【表 1】

	幅（縦方向）	長さ（横方向）	厚さ
片持ちアーム 8	5 $\mu\text{m}$	60 $\mu\text{m}$	3 $\mu\text{m}$
上部電極 9	100 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$
接触電極 5	70 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$

ここで、幅は図 1（a）の平面図に対して縦方向の長さ、長さは図 1（a）の平面図に対して横方向の長さ、厚さは図 1（b）の断面図に対して縦方向の長さをそれぞれ示す。

【0060】しかし、これら寸法は個々の応用に応じて設計すべきものであり、上述の数値に限定されるもので

はない。本発明においては、その増大した設計自由度により、広い範囲の設計が可能である。

【0061】ここで、図 1 に係るマイクロマシンスイッチの製造工程について図を参照して説明する。図 2、3 は、図 1 に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。製造工程について順次説明する。

【0062】まず、図2(a)に示すように、シリコンからなる基板11に二酸化シリコン膜からなるパタン12を形成し、水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)等のエッチング液を用いて基板11を約6 $\mu$ mほどエッチングする。ここで、基板11としては(100)面を主面とするシリコンを用いた場合、エッチング速度の面方位依存性により、エッチング後は(111)面が側面に露出した台形となる。

【0063】次いで、図2(b)に示すように、新たにパタン13を基板11上に形成し、このパタン13をマスクにしてマスクの無い領域にボロンを拡散させ、その後、ボロンの深い拡散を行うため、例えば1150℃で10時間ほど熱拡散を実施する。このとき、高濃度のボロンが約10 $\mu$ mの深さまで拡散される。その結果、支持部材7と上部電極9とが作製される。

【0064】次いで、図2(c)に示すように、片持ちアーム8に対応する領域のパタン13を除去してから、残ったパタン13をマスクにしてマスクの無い領域にボロンを拡散させる。その結果、支持部材7、片持ちアーム8および上部電極9からなるスイッチ本体部14ができあがる。なお、今回はボロンの浅い拡散を行うため、例えば1150℃で2時間ほど熱拡散を実施する。このとき、高濃度のボロンが約2 $\mu$ m深さまで拡散される。

【0065】次いで、図2(d)に示すように、上部電極9に二酸化シリコン1 $\mu$ mおよび窒化膜0.05 $\mu$ mからなる絶縁性部材6を作製する。

【0066】次いで、図3(e)に示すように、絶縁性部材6上に金メッキを用いて接触電極5を作製する。

【0067】次いで、図3(f)に示すように、このようにして作製された基板11を、金からなる下部電極4および金からなる信号線3、3aの形成されたガラス製の基板1に載置する。この基板1は上述のシリコンプロセスとは別個の工程で予め作製しておく。その後、支持部材7を基板1上に接着する。このとき、シリコンとガラスとの接着には、静電接着技術を利用することができる。

【0068】最後に、図3(g)に示すように、基板11をエチレンジアミンピロカテコール等のボロン濃度選択性が高いエッチング液に投入し、ボロンが拡散されていない部分を溶解する。その結果、基板1上にマイクロマシンスイッチを作製することができる。

【0069】なお、基板1がセラミックあるいはガリウムヒ素等で形成されているのであれば、接着剤を用いて支持部材7とこれらの基板とを接着させることも可能である。もしくは、これら基板の表面にガラスを2~5 $\mu$ m程度スパッタしておく、静電接着技術を使うことも可能である。

【0070】以上のように本実施の形態では、単結晶シリコン基板をエッチングすることによって片持ちアーム8等からなるスイッチ本体部14を作製している。この

ように、本実施の形態は材料として単結晶体を利用することにより、機械特性として最も信頼性における構造体を作製することができるという利点がある。

【0071】また、片持ちアーム8を単結晶体のみで作製しているため、従来例のように複数の材料を張り合わせた構造に比べ、熱膨張係数に起因する反りが発生することはない。すなわち、片持ちアーム8の基板1の面に対して直交する方向に沿った熱膨張係数の変化を、基板面側とその反対面側とで互に対称とすることにより、反りの発生を抑制している。

【0072】一方、ここに述べた方法以外にも、基板1上に種々の薄膜を堆積して選択エッチングを利用し、本発明の構造をもつスイッチを作製することも可能である。例えば、スイッチ本体部14を単結晶シリコンではなく、アモルファスシリコン、ポリシリコンまたは高抵抗の半導体材料(GaAs、鉄をドーブしたInP等)を使って作製してもよい。また、スイッチ本体部14を半導体ではなく、金やアルミニウム等の金属を使って作製してもよい。

【0073】次に、本発明のその他の実施の形態について図を参照して説明する。

[第2の実施の形態] 図4は、本発明の第2の実施の形態の平面図(a)およびそのB-B'線断面図(b)を示す。同図に示すように、本実施の形態では、誘電率の大きなガラス製の基板1上に、シリコンからなる支持部材7と、金からなる下部電極4と、金からなる信号線3が設けられている。また、基板1の裏面にはアース板2が形成されている。

【0074】スイッチ本体部14は、支持部材7と、片持ちアーム8と、上部電極9との一体構造となっている。支持部材7からは、シリコンからなる二本の片持ちアーム8が基板面に対してほぼ水平に延びている。二本の片持ちアーム8は、従来例における一本のアームと比べてアームの回転運動を低く抑えることができ、スイッチの片当たり接触を防止するのに役立つ。ただし、条件に応じて片持ちアーム8の本数を変えればよいのであって、本発明には1本および2本以上の片持ちアーム8を有する構造が含まれる。

【0075】ところで、支持部材7と片持ちアーム8との接続部分においては、その表面におけるなす角 $\alpha$ 、 $\beta$ が、それぞれ鈍角( $90^\circ < \alpha, \beta < 180^\circ$ )となるように調整することが好ましい。このようにすることにより、片持ちアーム8の強度を高めることができ、1MHz以上といった高周波数のスイッチング動作を可能とする。

【0076】片持ちアーム8の先端には、シリコンからなる上部電極9が設けられている。上部電極9は、下部電極4と空間的な隙間を介して対向している。支持部材7は、基板1上に形成されている信号線3aに接続されており、この信号線3aは、支持部材7および片持ちア

ーム 8 を介して上部電極 9 と電気的に接続されている。

【0077】また、二酸化シリコンあるいは窒化シリコン膜等の絶縁体膜からなる絶縁性部材 6 が、上部電極 9 の下面から始まって信号線 3 に対向する位置まで延びている。この信号線 3 に対向する絶縁性部材 6 の下側の位置には、金からなる接触電極 5 が設けられている。なお、高周波信号をスイッチングする場合は、信号線 3 と容量結合可能な範囲で接触電極 5 の表面を絶縁体膜で覆ってもよい。逆に信号線 3 を絶縁体膜で覆っても構わない。

【0078】接触電極 5 と対向する絶縁性部材 6 の上側には、シリコンからなる補強部材 10 が設けられている。これは、接触電極 5 と絶縁性部材 6 との間に生じる歪みによる反りを小さく抑えるために設けられたものである。このように、補強部材 10 を設けることにより、接触電極 5 は絶えず基板 1 に対して平行な状態を保つことができ、片当たりによる接触抵抗の増大を抑えることができる。なお、補強部材 10 は、絶縁性部材 6 の材料や膜厚等によっては必ずしも必要ではなく、これがない構造も本発明に含まれる。

【0079】ここで、本実施の形態の動作について説明する。上部電極 9 と下部電極 4 との間に 30 V の電圧を印加すると、静電気力により上部電極 9 に基板方向（下側）に引力が働く。このため、片持ちアーム 8 が下側に湾曲して接触電極 5 が信号線 3 と接触するようになる。

【0080】信号線 3 は、図 4（b）に示すように接触電極 5 に対向する位置に隙間が設けられている。このため、電圧が印加されない状態では信号線 3 に電流は流れないが、電圧が印加されて接触電極 5 が信号線 3 と接触した状態では信号線 3 を電流が流れることができる。このように、下部電極 4 への電圧印加によって信号線 3 を通る電流あるいは信号のオン／オフを制御することができる。また、30 GHz の信号を扱った場合、従来の H EMT（High Electron Mobility Transistor）スイッ \*

\* チでの挿入損失が 3～4 dB であったのに対し、本実施の形態のスイッチでは 0.2 dB という結果が得られた。

【0081】本実施の形態では、上部電極 9 は導電性の片持ちアーム 8 を介して導電性の支持部材 7 と電気的に接続されているため、上部電極 9 への電圧印加を容易に行うことができる。ただし、上部電極 9 は電気的に浮遊した状態であっても構わない。その場合、信号線 3 a は不要であり、スイッチを動作させるためには下部電極 4 に電圧を印加するだけでよい。

【0082】また、支持部材 7 と片持ちアーム 8 と上部電極 9 と補強部材 10 とは、不純物が一部あるいは全体に拡散された半導体から作製することができる。その場合、スイッチの動作時に上部電極 9 と下部電極 4 との間に流れる電流は、極めて小さなものであるから、これら半導体の不純物の含有量を精密に制御する必要はない。

【0083】また、以下の作製方法に述べるように片持ちアーム 8 の厚さを、他の構成要素に比べて薄く制御することも容易である。このように個々の要素の厚さを制御することによって、剛性の大きな構成要素の中に柔らかい片持ちアーム 8 を作製することができる。剛性の大きな要素では電圧印加時の変形が基板 1 に対して水平に行われ、変形のほとんどが薄い片持ちアーム 8 によってなされることになる。これは、スイッチの片当たりを低く抑えることに役立つものである。

【0084】ただし、上部電極 9 および補強部材 10 の厚さを、片持ちアーム 8 と同じにしたものも本発明に含まれることができる。このような構造は、作製方法が簡略化されるという長所がある。

【0085】なお、本実施の形態の代表的な寸法は、表 2 のとおりである。

【0086】

【表 2】

	幅（縦方向）	長さ（横方向）	厚さ
片持ちアーム 8	5 $\mu\text{m}$	60 $\mu\text{m}$	3 $\mu\text{m}$
上部電極 9	100 $\mu\text{m}$	50 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$
接触電極 5	70 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$

ここで、幅は図 4（a）の平面図に対して縦方向の長さ、長さは図 4（a）の平面図に対して横方向の長さ、厚さは図 4（b）の断面図に対して縦方向の長さをそれぞれ示す。

【0087】しかし、これら寸法は個々の応用によって設計すべきものであり、上述の数値に限定されるものではない。本発明においては、その増大した設計自由度に

より、広い範囲の設計が可能である。

【0088】ここで、図 4 に係るマイクロマシンスイッチの製造工程について図を参照して説明する。図 5、6 は、図 4 に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。製造工程について順次説明する。

【0089】まず、図 5（a）に示すように、シリコンからなる基板 11 に二酸化シリコン膜からなるパタン 1

2を形成し、水酸化テトラメチルアンモニウム（TMAH）等のエッチング液を用いて基板11を約 $6\mu\text{m}$ ほどエッチングする。ここで、基板11としては（100）面を主面とするシリコンを用いた場合、エッチング速度の面方位依存性により、エッチング後は（111）面が側面に露出した台形となる。

【0090】次いで、図5（b）に示すように、新たにボタン13を基板1上に形成し、このボタン13をマスクにしてマスクの無い領域にボロンを拡散させ、その後、ボロンの深い拡散を行うため、例えば $1150^\circ\text{C}$ で10時間ほど熱拡散を実施する。このとき、高濃度のボロンが約 $10\mu\text{m}$ の深さまで拡散される。その結果、支持部材7と上部電極9と補強部材10とが作製される。

【0091】次いで、図5（c）に示すように、片持ちアームに対応する領域のボタン13を除去してから、残ったボタン13をマスクにしてマスクの無い領域にボロンを拡散させる。その結果、支持部材7、片持ちアーム8および上部電極9からなるスイッチ本体部14ができあがる。なお、今回はボロンの浅い拡散を行うため、例えば $1150^\circ\text{C}$ で2時間ほど熱拡散を実施する。このとき、高濃度のボロンが約 $2\mu\text{m}$ 深さまで拡散される。

【0092】次いで、図5（d）に示すように、上部電極9から補強部材10にかけて、二酸化シリコン $1\mu\text{m}$ および窒化膜 $0.05\mu\text{m}$ からなる絶縁性部材6を作製する。

【0093】次いで、図6（e）に示すように、補強部材10に対向する絶縁性部材6上に金メッキを用いて接触電極5を作製する。

【0094】次いで、図6（f）に示すように、このようにして作製された基板11を、金からなる下部電極4および金からなる信号線3、3aの形成されたガラス製の基板1に載置する。この基板1は上述のシリコンプロセスとは別個の工程で予め作製しておく。その後、支持部材7を基板1上に接着する。このとき、シリコンとガラスとの接着には、静電接着技術を利用することができる。

【0095】最後に、図6（g）に示すように、基板11をエチレンジアミンピロカテコール等のボロン濃度選択性が高いエッチング液に投入し、ボロンが拡散されていない部分を溶解する。その結果、基板1上にマイクロマシンスイッチを作製することができる。

【0096】なお、基板1がセラミックあるいはガリウム砒素等で形成されているのであれば、接着剤を用いて支持部材7とこれらの基板とを接着させることも可能である。もしくは、これら基板の表面にガラスを $2\sim 5\mu\text{m}$ 程度スパッタしておく、と、静電接着技術を使うことが可能である。

【0097】以上のように本実施の形態では、単結晶シリコン基板をエッチングすることによって片持ちアーム7等からなるスイッチ本体部14を作製している。この

ように、本実施の形態は材料として単結晶体を利用することにより、機械特性として最も信頼性における構造体を作製することができるという利点がある。

【0098】また、片持ちアーム8を単結晶体のみで作製しているため、従来例のように複数の材料を張り合わせた構造に比べ、熱膨張係数に起因する反りが発生することはない。すなわち、片持ちアーム8の基板1の面に対して直交する方向に沿った熱膨張係数の変化を、基板面側とその反対面側とで互いに対称とすることにより、反りの発生を抑制している。

【0099】一方、ここに述べた方法以外にも、基板1上に種々の薄膜を堆積して選択エッチングを利用し、本発明の構造をもつスイッチを作製することも可能である。例えば、スイッチ本体部14および補強部材10を単結晶シリコンではなく、アモルファスシリコン、ポリシリコンまたは高抵抗の半導体材料（GaAs、鉄をドープしたInP等）を使って作製してもよい。また、スイッチ本体部14および補強部材10を半導体ではなく、金やアルミニウム等の金属を使って作製してもよい。

【0100】〔第3の実施の形態〕図7は、本発明の第3の実施の形態の平面図（a）および断面図（b）を示す。同図に示すように、図4と同一符号の構成要素は、同一または同等の構成要素であることを示している。

【0101】本実施の形態では、絶縁性部材6bが上部電極9の端面から延びている点が、第2の実施の形態と大きく異なる点である。この絶縁性部材6bは、酸化膜、窒化膜等の絶縁薄膜によって形成することもできるが、上部電極9と同一の半導体材料を使って形成することが可能である。その場合、例えば高抵抗の半導体材料（GaAs、鉄をドープしたInP等）で絶縁性部材6bを除く支持部材7、片持ちアーム8および上部電極9のみに不純物を拡散して抵抗を下げるという方法、または、絶縁性部材6bの領域に酸素等のイオンを打ち込んで抵抗を高くする方法等を利用することができる。本実施の形態には、補強部材10を接触電極5に対向する位置に設けているが、これがない構造も本発明に含まれる。

【0102】また、補強部材10は、低抵抗または高抵抗の何れであってもよい。また、本実施の形態では、上部電極9の下側に絶縁性部材6bとは別個に絶縁性部材6aが設けられている。これは、上部電極9と下部電極4との間に電圧を印加したとき、互いに接触して短絡が起こらないようにするためである。この絶縁性部材6aの厚さは、接触電極5よりも薄くすることが望ましい。

【0103】また、絶縁性部材6aは図7（b）のように上部電極9の下面に設けられてもよいし、下部電極4の上面に設けられていてもよい。または、上部電極9の下面および下部電極4の上面の両者に設けられていてもよい。また、本実施の形態では、第1の実施の形態のも

のと比べて、絶縁性部材 6 b が基板 1 に対して上側に位置するようになったため、接触電極 5 と信号線 3 との隙間が大きく取れるようになる。このため、オフ時の静電容量が小さくなり、オフ時の漏れ電流を小さく抑えることが可能となる。

【0104】以上の実施の形態では、基板 1 の具体例としてガラス基板をあげて説明した。ガラス基板はガリウムヒ素基板に比べて安価であり、多数のスイッチを集積化することが要求されるフェーズドアレイアンテナ等の応用において有望な材料である。しかし、本発明の構造はこれに限られるものではなく、ガリウムヒ素、シリコン、セラミック、プリント基板等においても有効である。

【0105】また、上部電極 9 に穴を開けることにより、上部電極 9 と下部電極 4 との間に存在する空気によるスクイーズ効果を減少させる手法も本発明に含まれる。本発明では、上部電極 9 および補強部材 10 によって絶縁性部材 6 b の強度を補強することが容易である。このため、内部に複数個の穴を設けたとしても、可動部全体の剛性は十分に大きく保つことが可能である。さらに、絶縁性部材 6 b、接触電極 5 および補強部材 10 にも穴をあけ、空気を通しやすくとスクイーズ効果を著しく抑えることが可能である。

【0106】〔第 4 の実施の形態〕図 8 は、本発明の第 4 の実施の形態を示す平面図である。同図において、図 1 における同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。図 8 に示すように、本実施の形態は下部電極 4 を信号線 3 のギャップ中に設けたものである。もちろん、下部電極 4 は信号線 3 の端部よりも低い位置に設けられており、片持ちアーム 8 が下側に湾曲して接触電極 5 が信号線 3 の端部と接触することはあっても、接触電極 5 が下部電極 4 と接触するようなことはない。

【0107】このように、アームの少しでも先の方に下部電極 4 を設けることにより、僅かな静電気力でアームを稼働させることができ、ひいては下部電極 4 に印加する電圧値を小さくすることができる。もちろん、このような構成で高周波信号を扱った場合、信号線 3 を流れる信号が下部電極 4 に漏れ易いといえる。したがって、このような構成では、DC や低周波の信号のみを扱うようにするとよい。

【0108】〔第 5 の実施の形態〕図 9 は、本発明の第 5 の実施の形態を示す断面図である。同図において、図 1 における同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。図 9 に示すように、本実施の形態は信号線 3 を挟んで 2 個の支持部材 7 を基板 1 上に配設している。したがって、上部電極 9 は各支持部材 7 からそれぞれ延びている片持ちアーム 8 に接続され、両側で支持した構造となっている。また、十分な静電気力を発生させるため、上部電極 9 の下には信号線 3 を挟んで 2 個所に下部電極 4 が配設されている。

【0109】このように、複数の支持部材 7 を使って上部電極 9 を支持した構成も、本発明に含まれる。また、支持部材 7 の個数をさらに増やして 2 個以上にしてもよく、そのような構造も本発明に含まれる。

【0110】〔第 6 の実施の形態〕図 10 は、本発明の第 6 の実施の形態を示す断面図である。同図において、図 1 における同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。図 10 に示すように、本実施の形態はスイッチ本体部 14 の表面を酸化させるなどし、片持ちアーム 8 を、シリコン層 8 a とそれを両側から挟む酸化シリコン層 8 b とかなる構造にしたものである。このように、両側の酸化シリコン層 8 b の厚さを等しくしてやれば、基板 1 側とその反対側の熱膨張係数は対称となるため、高温処理を行っても片持ちアーム 8 の反りは抑制される。

【0111】〔第 7 の実施の形態〕図 11 は、本発明の第 7 の実施の形態を示す断面図である。同図において、図 10 における同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。図 11 に示すように、本実施の形態は片持ちアーム 8 を 2 種以上の材料からなる薄膜を交互に積層した超格子構造を有するものである。第 6 の実施の形態同様に、本実施の形態においても、基板 1 側の熱膨張係数とその反対側の熱膨張係数とを対称にすることができ、温度変化による片持ちアーム 8 のそりを抑制することができる。

【0112】〔第 8 の実施の形態〕第 1 ～ 7 の実施の形態に係るマイクロマシンスイッチを、フェーズドアレイアンテナに適用した例について説明する。以下に示すように、上述のマイクロマシンスイッチは、DC ～ 高周波信号まで幅広く適用することができ、特にフェーズドアレイアンテナ装置に適用すると効果的である。

【0113】図 12 は、特願平 10-176367 号に開示されたフェーズドアレイアンテナ装置を示すブロック図である。同図に示すように、フェーズドアレイアンテナ装置は、M 個 (M は 2 以上の自然数) のアンテナ 23 を有し、アンテナ 23 は移相回路 24 に接続されている。この移相回路 24 は、データ分配回路 24 a と、このデータ分配回路 24 a に接続された M 個のデータラッチ回路 24 b と、このデータラッチ回路 24 b 接続された移相器 24 c とによって構成されている。

【0114】したがって、各アンテナ 23 は N ビット (N は自然数) の移相器 24 c にそれぞれ接続され、各移相器 24 c は分配合成器 22 を介して給電部 21 に接続されている。

【0115】また、データ分配回路 24 a は、制御装置 20 に接続されている。なお、データ分配回路 24 a およびデータラッチ回路 24 b は、基板上に薄膜トランジスタ回路 (TFT 回路) で実現されている。

【0116】また、移相器 24 c は、各ビット毎に上述のマイクロマシンスイッチを備えており、各データラッ

チ回路 24b は各移相器 24c のマイクロマシンスイッチに接続されている。このように、同図に示されたフェーズドアレイアンテナ装置では、従来外付け IC だった移相器の駆動回路を T F T 回路で構成し、移相器 24c 等と同一層に形成している。

【0117】次に、図 12 に示されたフェーズドアレイアンテナ装置の動作について説明する。制御装置 20 は、予め設定されているアンテナ 23 の位置と使用する周波数とに基づいて、放射ビームを所望の方向に向けるのに最適な移相量を N ビットの精度で計算し、その結果を制御信号としてデータ分配回路 24a に出力する。データ分配回路 24a は、各データラッチ回路 24b に制御信号を分配する。

【0118】アンテナ 23 における電波の放射方向は、全てのアンテナ 23 について一斉に切り換えられる。その際、各データラッチ回路 24b は、ビーム方向を切り換えるためのタイミング信号に同期して、保持データを入力データである制御信号に書き換え、保持データ（制御信号）に基づき、移相器 24c が必要とするビットのマイクロマシンスイッチに対して駆動電圧を一斉に印加する。

【0119】マイクロマシンスイッチに駆動電圧が印加されると、マイクロマシンスイッチは回路を閉じて、そのマイクロマシンスイッチが含まれるビットをオン状態にする。そして、移相器 24c のどのビットがオン状態になるかで、その移相器 24c の移相量が設定される。

【0120】各移相器 24c は、このようにして設定された移相量だけ高周波信号の位相を変え、各アンテナ 23 に給電する。そして、各アンテナ 23 は、給電位相に応じた位相の放射をし、その放射が等位相面が生成することにより、この等位相面と垂直な方向に放射ビームを形成する。

【0121】次に、図 12 に係るフェーズドアレイアンテナ装置の詳細な構造について説明する。図 13 は、フェーズドアレイアンテナ装置を示す分解斜視図である。同図に示されるように、全体構成は多層構造となっている。すなわち、分配合成層 L1 と、誘電体層 L2 と、給電用スロット層 L3 と、誘電体層 L4 と、放射素子と移相器と T F T 回路とからなる層（以下、移相回路層という）L5 と、誘電体層 L6 と、無給電素子層 L7 とがそれぞれ密着して張り合わされている。

【0122】各層は、フォトリソグラフィおよびエッチング技術、および、接着技術等を利用して多層化されている。例えば、無給電素子層 L7 および移相回路層 L5 は、誘電体層 L6 の各面に形成された金属膜に対して、フォトリソグラフィおよびエッチング技術を施して形成される。給電用スロット層 L3 は、誘電体層 L4 の片面に形成された金属膜に対して、フォトリソグラフィおよびエッチング技術を施すことによって形成される。

【0123】さて、無給電素子層 L7 には、複数の無給

電素子 32 が形成されている。この無給電素子 32 は、アンテナの帯域を広げるために用いられ、誘電体層 L6 を介して移相回路層 L5 の放射素子と電磁結合されている。また、誘電体層 L6 には、比誘電率が 2~10 程度の誘電体を用いられる。例えば、ガラスを用いれば製造コストを低減させることができ、誘電体層のうちの少なくとも一層にガラスを用いるのが望ましい。なお、製造コストの問題を無視すれば、誘電体層 L6 に比誘電率の高いアルミナや比誘電率の低い発泡材等の誘電体を使用してもよい。

【0124】次いで、移相回路層 L5 には、図 12 に示されたアンテナ 23 の一部と、移相回路 24 と、アンテナ 23 に給電するためのストリップライン等が形成されている。

【0125】次いで、誘電体層 L4 は、アルミナ等の比誘電率が 3~12 程度の誘電体で形成されている。次いで、給電用スロット層 L3 は、導電性を有する金属によって形成され、給電用結合手段である給電用スロット 30 が複数形成されている。なお、給電用スロット層 30 は、誘電体層 L4 に適宜設けられたスルーホールを介して移相回路層 L5 と接続され、移相回路層 L5 の接地として機能する。

【0126】次いで、分配合成層 L1 には、複数の分配合成器 22 が形成されている。分配合成器 22 は、給電用スロット層 L3 に設けられた給電用スロット 30 を介して移相回路層 L5 と電磁的に結合されている。1 個の分配合成器 22 と 1 個の給電用スロット 30 とは、1 個の給電ユニットを構成し、各ユニットはマトリックス状に配置されている。ただし、マトリックス状に配置されていないものも本発明に含まれる。

【0127】なお、放射素子 32 は、マトリックス状に配置されていてもよいし、単に 2 次元的に配列されているだけでもよい。あるいは一方向に整列配置されていてもよい。また、図 13 では分配合成器 22 と移相回路層 L5 とが、給電用スロット層 L3 を介して電磁的に結合されているが、分配合成器 22 と移相回路層 L5 とが給電ピン等の他の給電用結合手段で接続されている場合においては、同一面に形成されていてもよい。

【0128】次に、図 13 に示された移相回路層 L5 について詳細に説明する。図 14 は、移相回路層 L5 の 1 ユニットの示す平面図である。同図に示すようにガラス基板等の誘電体層 L6 には、放射素子 41、移相器群 40 およびデータラッチ回路 46 が形成されている。ただし、データラッチ回路 46 は移相器 40a~40d の各ビット毎に設けられている。

【0129】また、ストリップライン 42 は、放射素子 41 から移相器群 40 を介して、図 13 に示された給電用スロット 30 に対応する位置まで配設されている。そして、放射素子 41 としては、例えばパッチアンテナ、プリンテッドダイポール、スロットアンテナ、アパーチ

ャ素子等が使用される。ストリップライン42としては、マイクロストリップ線路、トリプレート線路、コプレーナ線路、スロット線路等の分布定数線路が使用される。

【0130】また、図14に示す移相器群40は、全体で4ビットの移相器を構成しており、すなわち4個の移相器40a、40b、40cおよび40dによって構成されている。各移相器40a～40dは、それぞれ給電する位相を22.5°、45°、90°、180°だけ変化させることができ、ストリップラインとマイクロマシンスイッチとで構成されている。

【0131】ここで、移相器40a～40cは、ストリップライン42と接地43との間に接続された2個のストリップライン44と、ストリップライン44の途中に接続されたマイクロマシンスイッチ45とで構成されている。これらの移相器は、ローデッドライン形移相器を構成している。

【0132】一方、移相器40dでは、ストリップライン42の途中に接続されたマイクロマシンスイッチ45aと、コの字型のストリップライン44aと、ストリップライン44aと接地43との間に接続されたマイクロマシンスイッチ45aとで構成されている。この移相器は、スイッチドライン形移相器を構成している。

【0133】一般に、移相量が小さい場合にはローデッドライン形の方が良い特性が得られ、移相量が大きい場合にはスイッチドライン形の方が良い特性が得られる。そのため、22.5°、45°、90°の移相器としてローデッドライン形を用い、180°の移相器としてスイッチドライン形を用いている。もちろん、移相器40a～40cに、スイッチドライン形を用いることも可能である。

【0134】各移相器40a～40dに含まれる2個のマイクロマシンスイッチ(45または45a)は、その近傍に配設されたデータラッチ回路46に接続され、データラッチ回路46が出力する駆動電圧によって同時に動作する。このように、ストリップライン42に流れる高周波信号は、移相器群40の働きにより、その給電位相が変化させられる。

【0135】なお、データラッチ回路46を、各マイクロマシンスイッチの近傍に配置する代わりに、複数のデータラッチ回路を一カ所にまとめて配置し、そこから配線を延ばして各マイクロマシンスイッチを駆動するようにしてもよい。また、1個のデータラッチ回路を複数の異なるユニットのマイクロマシンスイッチに接続してもよい。

【0136】図15は、ローデッドライン形の移相器に用いられたマイクロマシンスイッチ45周辺を拡大した平面図である。同図に示すように、2個のマイクロマシンスイッチ45は、2個のストリップライン44に対して左右対称となるように配設されている。また、これら

マイクロマシンスイッチ45は、図示しない1個のデータラッチ回路に接続され、データラッチ回路から同時に駆動電圧(外部電圧)が供給される。もちろん、このマイクロマシンスイッチ45としては、第1～7の実施の形態で述べたものを使用することができる。

#### 【0137】

【発明の効果】以上説明したとおり本発明は、機械的剛性の小さな梁部材の基板面側における熱膨張係数の変化とその反対面側における熱膨張係数の変化とが互いに対称となっている。このため、従来例のように異種材料間に生じる歪みによって起こる反りが著しく緩和される。ちなみに、試作したスイッチを測定してみたところ、片当たり等で生じる接触抵抗のばらつきが小さくなり、特性のそろったスイッチを多量に作製することができるようになった。

【0138】また、スイッチの周囲温度が変化してもスイッチ動作の変化が著しく小さいことも判明した。

【0139】また、支持部材、梁部材および上部電極を、同一の材料で作製することにより、製造プロセスを簡略化することができる。

【0140】また、高温プロセスを利用できることから、梁部材等を構成する材料の選択が広がり、種々の導体および半導体を利用することができるようになり、材料選択の自由度が増大する。特に、高温で作製された絶縁体膜は、耐圧特性にすぐれており、デバイスの電気特性に貢献するといえる。

【0141】さらに、厚さ方向の自由度が増大したため、アームの幅を減少することができ、スイッチの寸法を小さくすることが可能となった。

【0142】以上の優れた効果により、本発明のマイクロマシンスイッチは、個々ばらばらにして使用する単純なスイッチ応用に留まらず、大面積の基板上に数万個のオーダで集積化することが要求されるフェーズドアレイアンテナへの適用を可能とする。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態を示す平面図(a)およびそのA-A'線断面図(b)である。

【図2】 図1に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。

【図3】 図2の続きの製造工程を示す断面図である。

【図4】 本発明の第2の実施の形態を示す平面図(a)およびそのB-B'線断面図(b)である。

【図5】 図4に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。

【図6】 図5の続きの製造工程を示す断面図である。

【図7】 本発明の第3の実施の形態を示す平面図(a)およびそのC-C'線断面図(b)である。

【図8】 本発明の第4の実施の形態を示す平面図である。

【図9】 本発明の第5の実施の形態を示す断面図であ



る。

【図10】 本発明の第6の実施の形態を示す断面図である。

【図11】 本発明の第7の実施の形態を示す断面図である。

【図12】 フェーズドアレイアンテナ装置（本発明の第8の実施の形態）を示すブロック図である。

【図13】 図12に係るフェーズドアレイアンテナ装置の詳細な構成を示す分解斜視図である。

【図14】 図13に係る移相回路を示す平面図である。

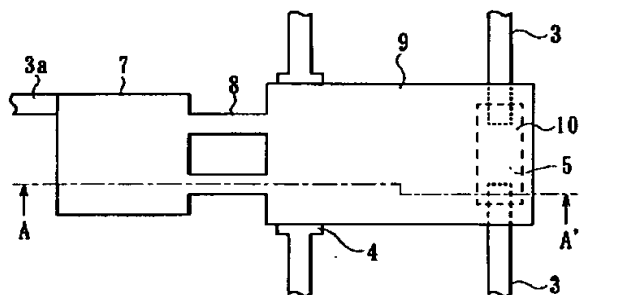
【図15】 図14に係るマイクロマシンスイッチの周辺を示す平面図である。

【図16】 従来例を示す平面図（a）およびそのD-D'線断面図（b）である。

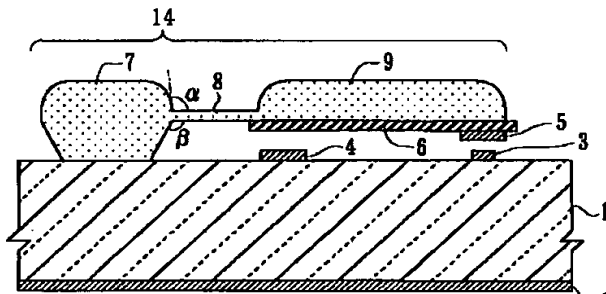
【符号の説明】

\* 1…基板、2…アース板、3、3a…信号線、4…下部電極、5…接触電極、6、6b…絶縁性部材、6a…絶縁体膜、7…支持部材、8…片持ちアーム、8a…シリコン層、8b…酸化シリコン層、9…上部電極、10…補強部材、11…基板、12、13…パタン、14…スイッチ本体部、20…制御装置、21…給電部、22…分配合成器、23…アンテナ、24…移相回路、24a…データ分配回路、24b…データラッチ回路、24c…移相器、30…給電用スロット、31…移相回路、32…無給電素子、40…移相器群、40a、40b、40c、40d…移相器、41…放射素子、42…ストリップライン、43…接地、44、44a…ストリップライン、45、45a…マイクロマシンスイッチ、46…データラッチ回路、L1…分配合成層、L2、L4、L6…誘電体層、L3…給電用スロット層、L5…移相回路層、L7…無給電素子層。

【図1】

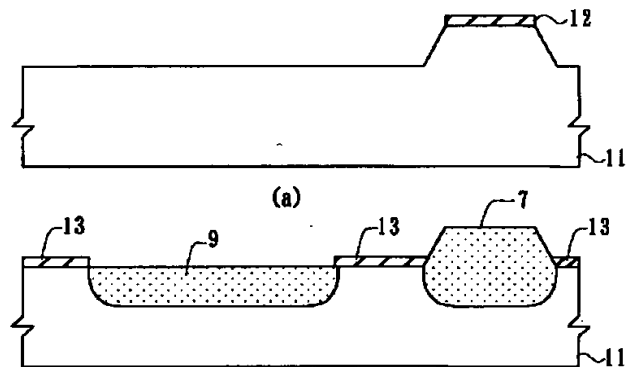


(a) 第1の実施の形態

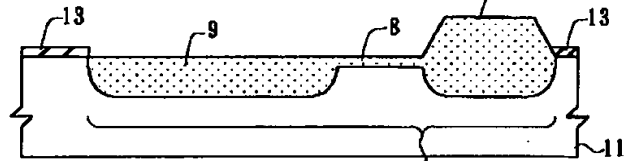


(b) A-A' 線断面図

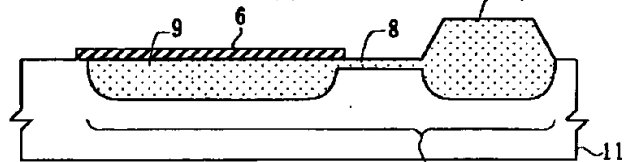
【図2】



(b)

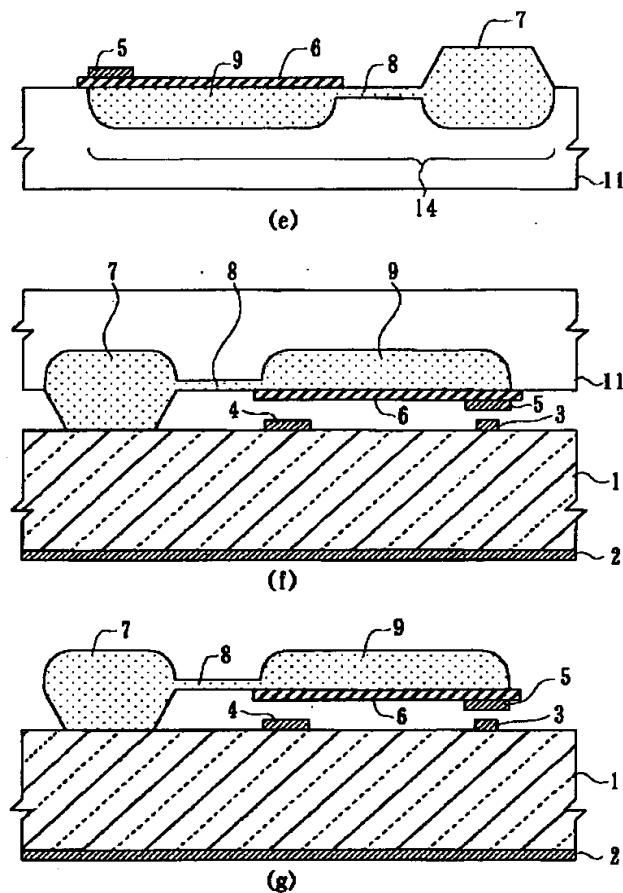


(c)

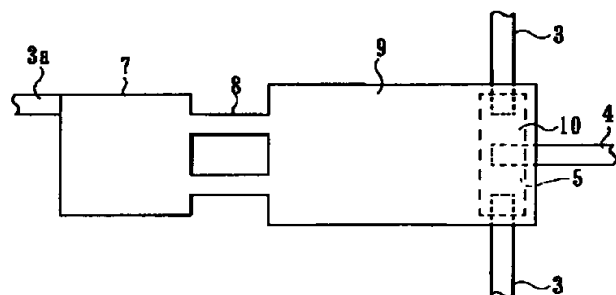


(d)

【図 3】

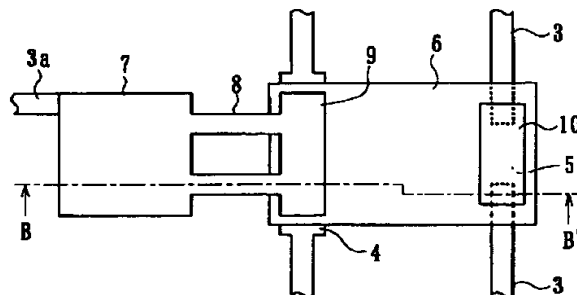


【図 8】

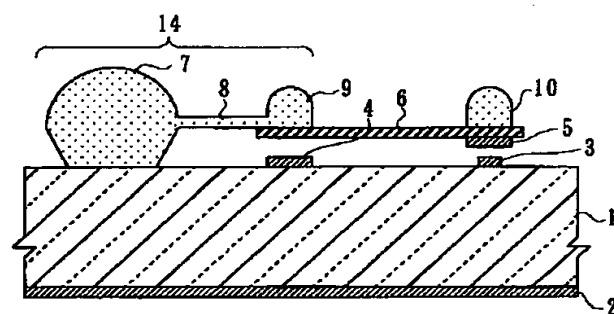


第 4 の実施の形態

【図 4】

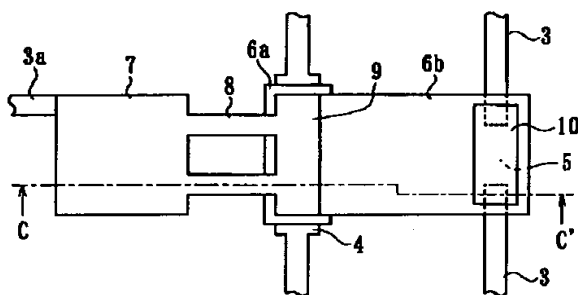


(a) 第 2 の実施の形態

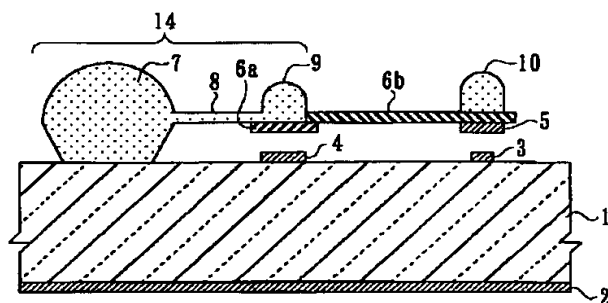


(b) B-B' 線断面図

【図 7】

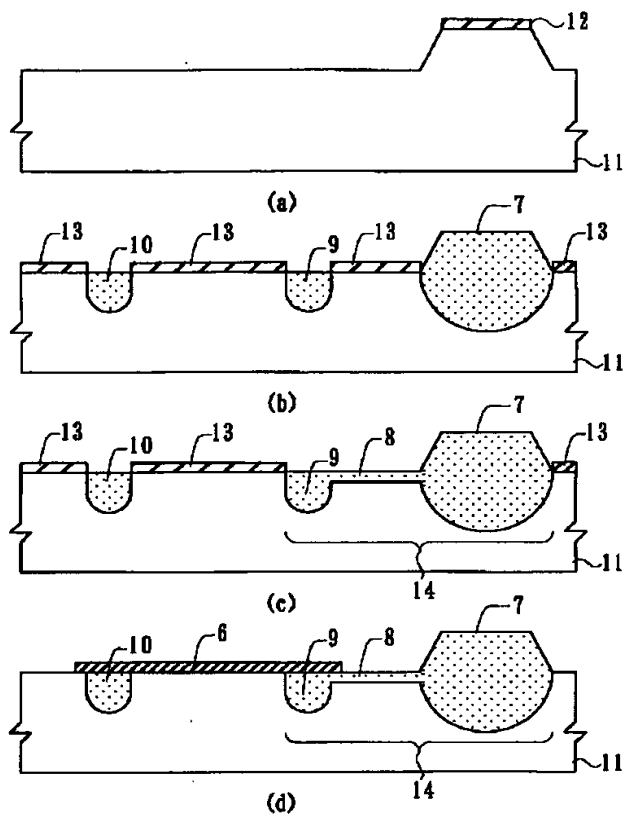


(a) 第 3 の実施の形態

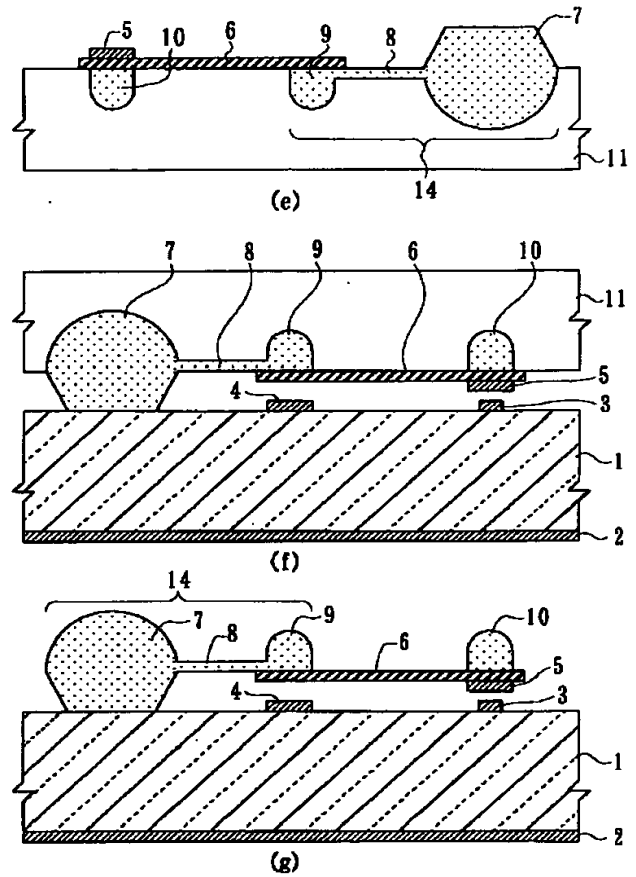


(b) C-C' 線断面図

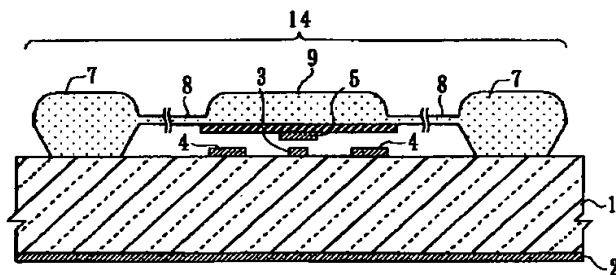
【図 5】



【図 6】

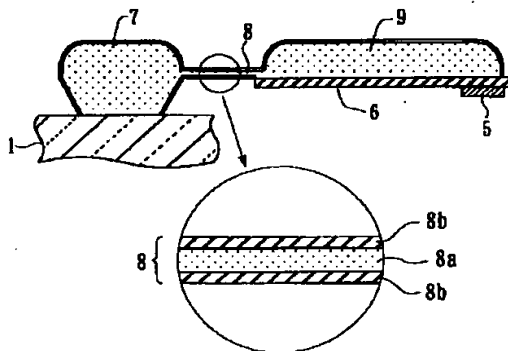


【図 9】



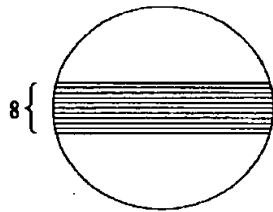
第 5 の実施の形態

【図 10】



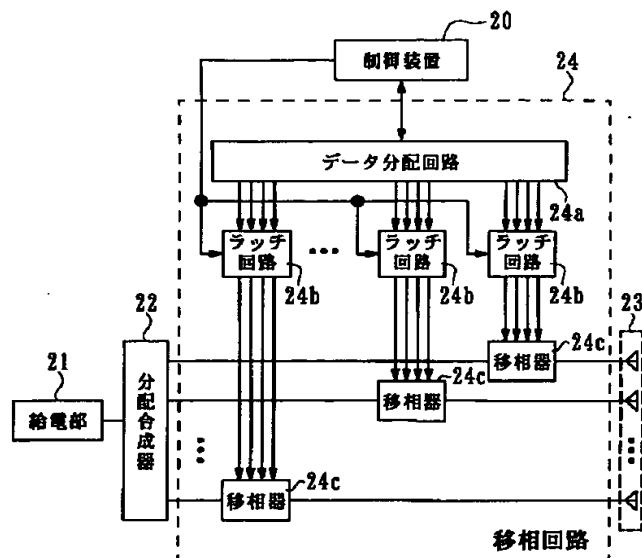
第 6 の実施の形態

【図 11】

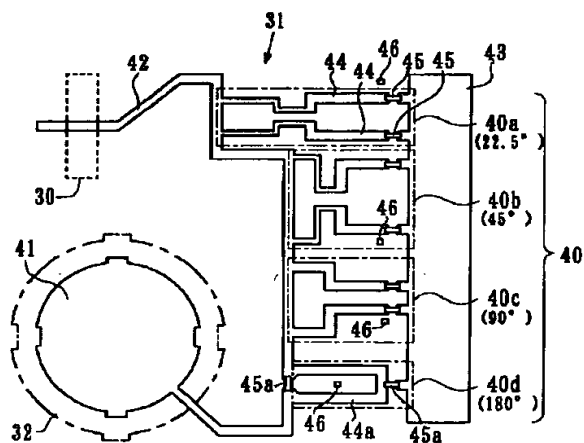


第 7 の実施の形態

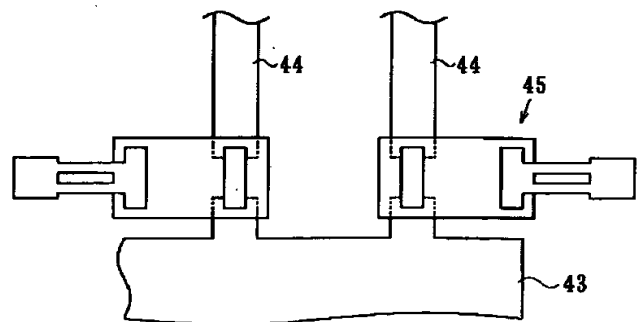
【図 12】



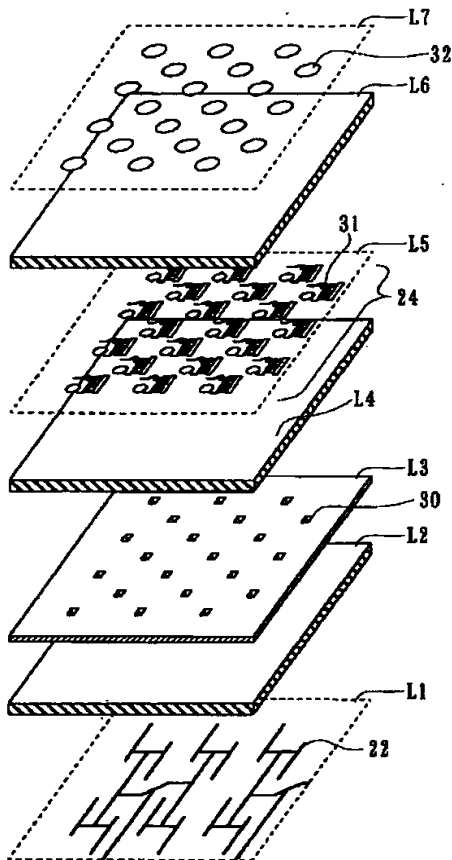
【図 14】



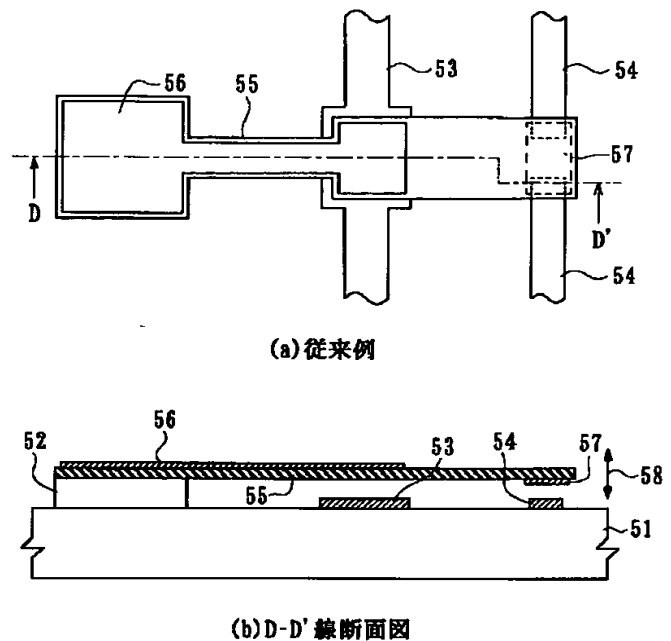
【図 15】



【図13】



【図16】



## 【手続補正書】

【提出日】平成12年4月3日(2000.4.3)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、  
前記基板上に前記ギャップと近接して設けられた支持部材によって前記基板上に支持された可撓性の梁部材と、この梁部材の前記基板側における少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、前記基板上に前記梁部材の一部と対向して設けられた下部電極とを備え、  
前記梁部材は、前記支持部材との接続部分から前記下部

電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、かつ、少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置までの間の一部の領域で、前記基板面に平行な前記梁部材の中心面に対して前記基板面に直交する厚み方向に沿った熱膨張係数が対称となるように配置された二種類以上の材料によって構成されることにより機械バネとして機能し、前記接触電極は、前記梁部材における前記基板側の面に、前記機械バネの一部として設けられた場合の絶縁性部材よりも絶縁性の優れている絶縁性部材を介して設けられていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項2】 基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、  
前記基板上に前記ギャップと近接して設けられた支持部材によって前記基板上に支持された可撓性の梁部材と、この梁部材の前記基板側における少なくとも前記ギャップ

ブと対向する位置に設けられた接触電極と、前記基板上に前記梁部材の一部と対向して設けられた下部電極とを備え、

前記梁部材は、前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、かつ、少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置までの間の一部の領域で、前記基板面に平行な前記梁部材の中心面に対して前記基板面に直交する厚み方向に沿った熱膨張係数が対称となるように構成されることにより機械バネとして機能し、

前記上部電極と前記接触電極とを接続する領域は、絶縁性部材のみからなることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 において、  
前記下部電極は、前記支持部材と前記ギャップとの間における前記基板上に設けられ、かつ、その厚さが前記第 1 および第 2 の信号線の厚さよりも薄いことを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 4】 請求項 1 ないし 3 の何れか一項において、  
前記梁部材における前記基板側の面と、前記梁部材が接続されている前記支持部材側の面と、のなす角が鈍角であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 5】 請求項 1 ないし 3 の何れか一項において、  
前記支持部材は、前記梁部材との接続部分において、前記梁部材の前記基板と反対側の面よりも高い位置まで突出していることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 6】 請求項 5 において、  
前記梁部材における前記基板と反対側の面と、この反対側の面よりも高く突出した前記支持部材の表面と、のなす角が鈍角であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 7】 請求項 5 において、  
前記梁部材における前記基板側の面と、この梁部材が接続されている前記支持部材の側面と、のなす角が鈍角であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 8】 請求項 1 ないし 7 の何れか一項において、  
前記梁部材は、前記接触電極が設けられた面と反対側の面に、前記接触電極と対向して補強部材が設けられていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 9】 請求項 1 ないし 7 の何れか一項において、  
前記接触電極は、前記第 1 および第 2 の信号線と容量接続可能な絶縁体膜によって覆われていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 10】 請求項 1 ないし 6 の何れか一項において、

前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とは、同一の導電性部材からなる一体構造であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 11】 請求項 1 ないし 10 において、  
前記導電性部材は、半導体材料よりなることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 12】 請求項 2 において、  
前記梁部材は、半導体材料により形成され、かつ、前記接触電極の設けられている部分から前記下部電極と対向する部分にかけての領域が少なくとも絶縁化されていることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 13】 請求項 11 または 12 において、  
前記半導体材料は、単結晶の半導体であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 14】 請求項 11 または 12 において、  
前記半導体材料は、アモルファス半導体または多結晶半導体であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 15】 請求項 1 ないし 3 の何れか一項において、  
前記基板は、ガラス基板またはセラミック基板であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 16】 請求項 1 ないし 3 の何れか一項において、  
前記基板は、ガリウムヒ素基板であることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 17】 請求項 1 ないし 3 の何れか一項において、  
前記マイクロマシンスイッチは、フェーズドアレイアンテナ装置に使用されることを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 18】 請求項 1 ないし 3 の何れか一項において、  
同一の接触電極を支える複数の梁部材と、これらの梁部材を支持する複数の支持部材とを備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【請求項 19】 基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチの製造方法において、  
前記基板上に下部電極を形成する工程と、所定の高さを有する支持部材とこの支持部材に設けられた可撓性の梁部材とこの梁部材に設けられた接触電極とからなる部材を、前記接触電極が前記ギャップと対向するとともに前記第 1 および第 2 の信号線と離間した状態で、前記基板上に接着する工程とを有し、

前記梁部材は、前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、かつ、少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置までの間

の一部の領域で、前記基板面に平行な前記梁部材の中心面に対して前記基板面に直交する厚み方向に沿った熱膨張係数が対称となるように配置された二種類以上の材料によって構成されることにより機械バネとして機能し、前記接触電極は、前記梁部材における前記基板側の面に、前記機械バネの一部として設けられた場合の絶縁性部材よりも絶縁性が優れている絶縁性部材を介して設けられていることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 20】 基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチの製造方法において、前記基板上に下部電極を形成する工程と、所定の高さを有する支持部材とこの支持部材に設けられた可撓性の梁部材とこの梁部材に設けられた接触電極とからなる部材を、前記接触電極が前記ギャップと対向するとともに前記第 1 および第 2 の信号線と離間した状態で、前記基板上に接着する工程とを有し、前記梁部材は、前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、かつ、少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置までの間の一部の領域で、前記基板面に平行な前記梁部材の中心面に対して前記基板面に直交する厚み方向に沿った熱膨張係数が対称となるように構成されることにより機械バネとして機能し、前記上部電極と前記接触電極とを接続する領域は、絶縁性部材のみからなることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 21】 請求項 19 または 20 において、前記下部電極は、前記支持部材と前記ギャップとの間における前記基板上に設けられ、かつ、その厚さが前記第 1 および第 2 の信号線の厚さよりも薄いことを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 22】 請求項 19 ないし 21 の何れか一項において、前記梁部材における前記基板側の面と、前記梁部材が接続されている前記支持部材側の面と、のなす角を鈍角にすることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 23】 請求項 19 ないし 21 の何れか一項において、前記梁部材との接続部分において、前記梁部材の前記基板と反対側の面よりも高い位置まで突出するように、前記支持部材を形成することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 24】 請求項 23 において、前記梁部材における前記基板と反対側の面と、この反対

側の面よりも高く突出した前記支持部材の表面と、のなす角を鈍角にすることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 25】 請求項 24 において、前記梁部材における前記基板側の面と、この梁部材が接続されている前記支持部材の側面と、のなす角を鈍角にすることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 26】 請求項 19 ないし 25 の何れか一項において、前記梁部材における前記接触電極が設けられた面と反対側の面に、前記接触電極と対向して補強部材を設けることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 27】 請求項 19 ないし 25 の何れか一項において、前記接触電極を、前記第 1 および第 2 の信号線と容量接続可能な絶縁体膜によって覆うことを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 28】 請求項 19 ないし 25 の何れか一項において、前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とを、同一の導電性部材からなる一体構造とすることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 29】 請求項 19 ないし 28 の何れか一項において、前記導電性部材を、半導体材料より形成することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 30】 請求項 20 において、前記梁部材を半導体材料により形成し、かつ、前記接触電極の設けられている部分から前記下部電極と対向する部分にかけての領域を少なくとも絶縁化することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 31】 請求項 29 または 30 において、前記半導体材料として、単結晶の半導体を用いることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 32】 請求項 29 または 30 において、前記半導体材料として、アモルファス半導体または多結晶半導体を用いることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 33】 請求項 19 ないし 21 の何れか一項において、前記基板として、ガラス基板またはセラミック基板を用いることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 34】 請求項 19 ないし 21 の何れか一項において、前記基板として、ガリウムヒ素基板を用いることを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 35】 請求項 19 ないし 21 の何れか一項において、

前記マイクロマシンスイッチを、フェーズドアレイアンテナ装置に使用することを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【請求項 36】 請求項 19 ないし 21 の何れか一項において、

同一の接触電極を支える複数の梁部材と、これらの梁部材を支持する複数の支持部材とを備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチの製造方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正内容】

【0024】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、本発明に係るマイクロマシンスイッチの一態様は、基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、前記基板上に前記ギャップと近接して設けられた支持部材によって前記基板上に支持された可撓性の梁部材と、この梁部材の前記基板側における少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、前記基板上に前記梁部材の一部と対向して設けられた下部電極とを備え、前記梁部材は、前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、かつ、少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置までの間の一部の領域で、前記基板面に平行な前記梁部材の中心面に対して前記基板面に直交する厚み方向に沿った熱膨張係数が対称となるように配置された二種類以上の材料によって構成されることにより機械バネとして機能し、前記接触電極は、前記梁部材における前記基板側の面に、前記機械バネの一部として設けられた場合の絶縁性部材よりも絶縁性の優れている絶縁性部材を介して設けられている。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチのその他の態様は、次に示す構成を含む。すなわち、基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部の設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、前記基板上に前記ギャップと近接して設けられた支持部材によって前記基板上に支持された可撓性の梁部材と、この

梁部材の前記基板側における少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、前記基板上に前記梁部材の一部と対向して設けられた下部電極とを備え、前記梁部材は、前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、かつ、少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置までの間の一部の領域で、前記基板面に平行な前記梁部材の中心面に対して前記基板面に直交する厚み方向に沿った熱膨張係数が対称となるように構成されることにより機械バネとして機能し、前記上部電極と前記接触電極とを接続する領域は、絶縁性部材のみからなる。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】また、前記下部電極は、前記支持部材と前記ギャップとの間における前記基板上に設けられ、かつ、その厚さが前記第 1 および第 2 の信号線の厚さよりも薄い。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正内容】

【0027】また、前記梁部材における前記基板側の面と、前記梁部材が接続されている前記支持部材側の面と、のなす角が鈍角である。また、前記支持部材は、前記梁部材との接続部分において、前記梁部材の前記基板と反対側の面よりも高い位置まで突出している。また、前記梁部材における前記基板と反対側の面と、この反対側の面よりも高く突出した前記支持部材の表面と、のなす角が鈍角である。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】また、前記梁部材における前記基板側の面と、この梁部材が接続されている前記支持部材の側面と、のなす角が鈍角である。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0029

【補正方法】変更

【補正内容】

【0029】また、前記梁部材は、前記接触電極が設けられた面と反対側の面に、前記接触電極と対向して補強部材が設けられていることを特徴とするマイクロマシン



スイッチ。また、前記接触電極は、前記第 1 および第 2 の信号線と容量接続可能な絶縁体膜によって覆われている。また、前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とは、同一の導電性部材からなる一体構造である。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正内容】

【0030】また、前記導電性部材は、半導体材料よりなる。また、前記梁部材は、半導体材料により形成され、かつ、前記接触電極の設けられている部分から前記下部電極と対向する部分にかけての領域が少なくとも絶縁化されている。また、前記半導体材料は、単結晶の半導体である。また、前記半導体材料は、アモルファス半導体または多結晶半導体である。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正内容】

【0031】また、前記基板は、ガラス基板またはセラミック基板である。また、前記基板は、ガリウムヒ素基板である。また、前記マイクロマシンスイッチは、フェーズドアレイアンテナ装置に使用される。さらに、同一の接触電極を支える複数の梁部材と、これらの梁部材を支持する複数の支持部材とを備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0032

【補正方法】変更

【補正内容】

【0032】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法の一態様は、基板上に設けられた第 1 の信号線と、前記基板上に設けられかつ前記第 1 の信号線の端部から所定のギャップを隔てて端部に設けられた第 2 の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチの製造方法において、前記基板上に下部電極を形成する工程と、所定の高さを有する支持部材とこの

支持部材に設けられた可撓性の梁部材とこの梁部材に設けられた接触電極とからなる部材を、前記接触電極が前記ギャップと対向するとともに前記第 1 および第 2 の信号線と離間した状態で、前記基板上に接着する工程とを有し、前記梁部材は、前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置にかけて導電性を有することにより上部電極として機能し、かつ、少なくとも前記支持部材との接続部分から前記下部電極と対向する位置までの間の一部の領域で、前記基板面に平行な前記梁部材の中心面に対して前記基板面に直交する厚み方向に沿った熱膨張係数が対称となるように配置された二種類以上の材料によって構成されることにより機械パネとして機能し、前記接触電極は、前記梁部材における前記基板側の面に、前記機械パネの一部として設けられた場合の絶縁性部材よりも絶縁性の優れている絶縁性部材を介して設けられている。

【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正内容】

【0033】また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法のその他の態様は、各部の構成について上述のマイクロマシンスイッチと同様の構成を含む。

【手続補正 12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正内容】

【0044】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図を用いて説明する。なお、以下の各実施の形態においては、片持ちアーム 8 の構造として後述の図 10 または図 11 に相当する構成を備えている。すなわち、片持ちアーム 8 は、基板面に平行なこの片持ちアーム 8 の中心面に対して基板面に直交する厚み方向に沿った熱膨張係数が対称となるように配置された二種類以上の材料によって構成されることにより、機械パネとして機能することを特徴とする。

フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

H01H 13/00  
13/14

F I

H01H 13/14  
B62D 57/00

テーマコード(参考)

A  
E

(72)発明者 陳 曙光  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

F ターム(参考) 5G006 AA02 AA06 AB33 AZ01 AZ05  
BA01 BB07  
5G023 AA01 AA11 AA20 CA19 CA29  
5G050 AA03 BA12 DA02 DA10 EA09  
5G051 HA15 HA22